

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: **A 1585/2009**

(22) Anmeldetag: **07.10.2009**

(43) Veröffentlicht am: **15.02.2011**

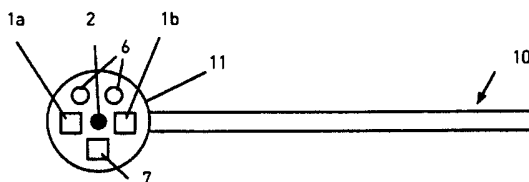
(51) Int. Cl.: **G06T 1/00** (2006.01),
G06T 7/00 (2006.01),
G01B 11/02 (2006.01),
A61B 5/107 (2006.01)

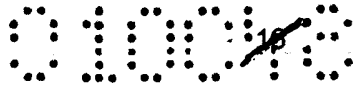
(73) Patentinhaber:

AIT AUSTRIAN INSTITUTE OF
TECHNOLOGY GMBH
A-1220 WIEN (AT)
KOINIG HORST
A-9020 KLAGENFURT (AT)

(54) **VERFAHREN ZUR AUFNAHME DREIDIMENSIONALER ABBILDER**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Aufnahme dreidimensionaler Abbilder von Gegenständen mit zwei Kameras (1a, 1b) mit einander überschneidenden Aufnahmebereichen. Im Zuge eines Kalibrierverfahrens wird für jede der Kameras (1a, 1b) jeweils eine Schar von einander zugehörigen Epipolarlinien (9a, 9b) ermittelt. Es wird vorgegebenes Zufallsbild (40) auf den aufzunehmenden Gegenstand (30) projiziert wird. Für jedes Pixel der Kamera wird eine erste Umgebung (13a) bestimmt, die zugehörige erste Epipolarlinie (9a) bestimmt wird, für diese erste Epipolarlinie (9a) die zugeordnete zweite Epipolarlinie (9b) der zweiten Kamera (1b) bestimmt. Für sämtliche Pixel (8b) des Bildes der zweiten Kamera (1b), die sich auf der zweiten Epipolarlinie (9b) befinden, wird eine zur ersten Umgebung kongruente zweite Umgebung (13b) bestimmt. Die Intensitätswerte der ersten und der zweiten Umgebung (13a, 13b) werden miteinander verglichen werden und ein Übereinstimmungsmaß gebildet. Es wird diejenige Bildposition (14) auf der zweiten Epipolarlinie (9b) bestimmt wird, für die das Übereinstimmungsmaß am größten ist. Mittels der zuvor bestimmten Transformation wird eine Raumposition (17) bestimmt. Das dreidimensionale Abbild umfasst die so ermittelten Raumpositionen (17).

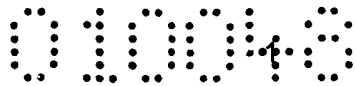




Zusammenfassung:

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Aufnahme dreidimensionaler Abbilder von Gegenständen mit zwei Kameras (1a, 1b) mit einander überschneidenden Aufnahmebereichen. Im Zuge eines Kalibrierungsverfahrens wird für jede der Kameras (1a, 1b) jeweils eine Schar von einander zugehörigen Epipolarlinien (9a, 9b) ermittelt wird.

Es wird vorgegebenes Zufallsbild (40) auf den aufzunehmenden Gegenstand (30) projiziert wird. Für jedes Pixel der Kamera wird eine erste Umgebung (13a) bestimmt, die zugehörige erste Epipolarlinie (9a) bestimmt wird, für diese erste Epipolarlinie (9a) die zugeordnete zweite Epipolarlinie (9b) der zweiten Kamera (1b) bestimmt. Für sämtliche Pixel (8b) des Bildes der zweiten Kamera (1b), die sich auf der zweiten Epipolarlinie (9b) befinden, wird eine zur ersten Umgebung kongruente zweite Umgebung (13b) bestimmt. Die Intensitätswerte der ersten und der zweiten Umgebung (13a, 13b) werden miteinander verglichen werden und ein Übereinstimmungsmaß gebildet. Es wird diejenige Bildposition (14) auf der zweiten Epipolarlinie (9b) bestimmt wird, für die das Übereinstimmungsmaß am größten ist. Mittels der zuvor bestimmten Transformation wird eine Raumposition (17) bestimmt. Das dreidimensionale Abbild umfasst die so ermittelten Raumpositionen (17) ~~Fig. 1~~.



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Aufnahme dreidimensionaler Abbilder von Gegenständen gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 sowie eine Anordnung zur Aufnahme dreidimensionaler Abbilder von Gegenständen gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 7.

Erfindungsgemäße Verfahren und Anordnungen werden insbesondere im Bereich der dreidimensionalen Aufnahme von Zähnen verwendet. Der Anwendungsbereich erstreckt sich dabei auf die Aufnahme von digitalen Zahn- und Kieferabdrücken, die Hilfestellung bei der Diagnose, die Überwachung von Zahnbehandlungen sowie die zuverlässige Kontrolle von eingesetzten Implantaten. Neben weiteren Einsatzgebieten im Bereich der Medizin- und Industrietechnik, beispielsweise im Bereich der Endoskopie, können generell Raumbereiche stereometrisch vermessen werden, die schwer zugänglich sind.

Hintergrund der Erfindung ist die stereometrische Aufnahme von schwer zugänglichen Gegenständen, beispielsweise Zähnen in der Mundhöhle eines Menschen. Probleme bestehen hierbei zum einen in der erforderlichen Miniaturisierung der Aufnahmeeinheit und zum anderen in den hohen Anforderungen an die Zuverlässigkeit des Verfahrens. Insbesondere im Bereich der Zahnheilkunde sind oft Abmessungen von etwa 0,1mm relevant, sodass eine Auflösung von im Bereich von etwa 0,01mm erforderlich ist, um sämtliche Details der abzubildenden Gegenstände mit hinreichender Auflösung zu erfassen.

Aus dem Stand der Technik sind bereits Zahnvermessungsvorrichtungen bekannt, die dreidimensionale Bilder liefern. Ein wesentlicher Nachteil dieser Vorrichtungen ist, dass die Sensorteile, die zu den abzubildenden Gegenständen vordringen, meist unhandlich und sperrig sind, da mitunter eine Menge unterschiedlicher Komponenten im Aufnahmebereich erforderlich ist.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Anordnung sowie ein Verfahren zur Verfügung zu stellen, die dreidimensionale Abbilder mit hoher Präzision liefern, wobei die Anordnung eine möglichst kompakte Bauform aufweist.

Die Erfindung löst diese Aufgabe bei einem Verfahren der eingangs genannten Art mit den Merkmalen des Kennzeichens des Anspruchs 1. Die Erfindung löst diese Aufgabe bei einer Anordnung der eingangs genannten Art mit den Merkmalen des Kennzeichens des Anspruchs 7.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass vorab die Anordnung der beiden Kameras kalibriert wird, wobei die Position und Orientierung der beiden Kameras zueinander festgestellt wird und eine Transformation bestimmt wird, die jeweils einer Bildposition eines mit der Kamera aufgezeichneten Bildes und einer Bildposition eines mit der anderen Kamera aufgezeichneten Bildes genau eine Raumposition in einem dreidimensionalen



Aufnahmerraum zuordnet. Ferner wird im Zuge des Kalibrierungsverfahrens für jede der Kameras jeweils eine Schar von Epipolarlinien ermittelt, wobei jeweils eine Epipolarlinie der einen Kamera jeweils genau einer Epipolarlinie der anderen Kamera zugeordnet wird. Dabei ist vorgesehen, dass ein vorgegebenes Zufallsbild auf den aufzunehmenden Gegenstand projiziert wird, wobei die einzelnen Bildpunkte des Zufallsbilds einen von zumindest zwei voneinander abweichenden Farbwerten und/oder Intensitätswerten aufweisen. Dann wird für jedes Pixel der ersten Kamera jeweils eine erste Umgebung bestimmt und eine für die erste Kamera aufgefundene und das jeweilige Pixel umfassende Epipolarlinie bestimmt. Anschließend wird die dieser aufgefundenen ersten Epipolarlinie zugeordnete zweite Epipolarlinie der zweiten Kamera bestimmt. Für sämtliche Pixel des Bildes der zweiten Kamera, die sich auf der zweiten Epipolarlinie befinden, wird eine zweite Umgebung bestimmt die kongruent zur ersten Umgebung ist, es werden die Intensitätswerte der ersten und zweiten Umgebung miteinander verglichen, es wird ein Übereinstimmungsmaß für die beiden Umgebungen bestimmt und es wird diejenige Bildposition auf der zweiten Epipolarlinie bestimmt, für die das Übereinstimmungsmaß am größten ist. Mit der Transformation wird ausgehend von der Bildposition des Pixels der ersten Kamera und der ermittelten Bildposition auf der zweiten Epipolarlinie eine Raumposition bestimmt und diese Raumposition abgespeichert, wobei das Abbild des aufgenommenen Gegenstands durch die Menge der aufgefundenen Raumpositionen bestimmt und für eine weitere Verarbeitung zur Verfügung gehalten wird. Dieses Vorgehen ermöglicht eine einfache und effiziente dreidimensionale Aufnahme und Abbildung von Gegenständen und dabei wird die Zuordnung zweier denselben Pixelbereich darstellender Pixel der beiden Kameras gegenüber den bisher bekannten Verfahren erheblich vereinfacht und die erforderlichen Rechenschritte zum Auffinden zweier denselben Bildbereich abbildender Pixel erheblich beschleunigt.

Eine besondere Ausführungsform der Erfindung sieht vor, dass unmittelbar vor oder nach der Aufnahme der Menge der Raumpositionen die Projektion des Zufallsbilds inaktiv gestellt wird und gegebenenfalls eine zusätzliche Beleuchtung des Gegenstandes erfolgt, wobei mit zumindest einer Kamera ein Bild des aufzunehmenden Gegenstandes aufgezeichnet wird. Es wird jedem der ermittelten Raumpunkte der Intensitätswert oder die Bildposition zugeordnet, mittels derer basierend auf der Transformation die Raumposition des Raumpunktes ermittelt worden ist. Mit einem derartigen Vorgehen können die aufgenommenen dreidimensionalen Abbilder des Gegenstandes mit einer Farbdarstellung versehen werden und gegebenenfalls in ihrer Farbe dargestellt werden.

Ferner kann vorgesehen werden, dass mittels eines Meshing-Verfahrens basierend auf der aufgezeichneten Punktmenge eine Oberflächenverlegung oder eine Raumzerlegung mit einer Anzahl von Raumelementen oder Oberflächenelementen durchgeführt wird. Dies



hat den erheblichen Vorteil, dass eine dreidimensionale Darstellung der aufgenommenen Punktmenge einfach möglich ist und nachfolgende Berechnungen einfach durchgeführt werden können.

Ein besonderer Aspekt der Erfindung sieht vor, dass den Oberflächenelementen der Oberflächenzerlegung ein aus den Intensitätswerten der Raumpunkte der Punktmenge, insbesondere durch Interpolation, ermittelter Intensitätswert zugeordnet und gegebenenfalls angezeigt wird. Dies ermöglicht eine besonders realistische Farbdarstellung der aufgenommenen Gegenstände.

Ein besonders vorteilhafter Aspekt der Erfindung sieht vor, dass laufend dreidimensionale Abbildungen von Gegenständen aufgenommen werden, die Gegenstände relativ zur Anordnung zu den Kameras bewegt werden, wobei die Relativbewegung derart langsam erfolgt, dass eine Überlappung des aufgenommenen Raumbereichs zeitlich aufeinander folgender Abbildungen besteht und die ermittelten Punktmengen, Oberflächenzerlegungen oder Raumzerlegungen durch isometrische Transformation zur Deckung gebracht werden. Damit wird eine zusammengesetzte Aufnahme aus einer Vielzahl von Aufnahmen erstellt. Vorteilhaft ist dabei, dass die Aufnahmen, die üblicherweise aus sehr geringer Distanz gemacht werden, auf einfache Weise zusammengesetzt werden können und somit ein Gesamtbild aus mehreren Teilbildern erstellt werden kann, dessen Größe die Größe des Aufnahmebereichs der beiden Kameras übersteigt.

Ferner kann vorgesehen werden, dass bei mangelnder Übereinstimmung der ersten Umgebung mit den zweiten Umgebungen der Pixel auf einer Epipolarlinie des Bildes der zweiten Kamera ein die Oberfläche des aufzunehmenden Gegenstandes mattierendes Fluid auf die aufzunehmenden Gegenstände aufgesprüht wird und der Vorgang des Auffindens übereinstimmender Umgebungen nach dem Aufsprühen der Flüssigkeit fortgesetzt wird. Dies ermöglicht insbesondere bei sehr stark reflektierenden oder sehr glatten Gegenständen eine präzise dreidimensionale Aufnahme.

Ferner ist erfindungsgemäß bei einer Anordnung zur Aufnahme dreidimensionaler Abbilder von Gegenständen mit zwei Kameras mit einander überlappenden Aufnahmebereichen eine Projektionseinheit zur Abbildung eines Zufallsbilds vorgesehen, dass die einzelnen Pixel des Zufallsbilds einen von zumindest zwei voneinander abweichenden Farbwerten und/oder Intensitätswerten aufweisen, wobei mit der Projektionseinheit das Zufallsbild in die überlappenden Aufnahmebereiche der beiden Kameras projizierbar ist. Mit einer derartigen Anordnung können Bilder aufgenommen werden, die sehr leicht in ein dreidimensionales Bild umwandelbar sind.

Ein besonderer Aspekt dieser Erfindung sieht eine, vorzugsweise schaltbare Lichtquelle vor, die den überlappenden Aufnahmebereich der beiden Kameras beleuchtet. Durch die



Beleuchtung mit dieser Lichtquelle können neben den zur Aufnahme der dreidimensionalen Bilder benötigten Kamerabilder auch weitere Kamerabilder erstellt werden, die entweder unmittelbar angesehen werden können oder aber zur Einfärbung eines nach der Aufnahme ermittelten dreidimensionalen Gegenstandsbildes dienen.

Ferner kann die Erfindung durch einen Zerstäuber weitergebildet werden, mit dem ein mattierendes Fluid auf die aufzuzeichnenden Gegenstände aufgebracht werden kann. Dies ermöglicht die Aufnahme von mattierten Bildern, mit denen eine dreidimensionale Abbildung leichter erzielt werden kann.

Ein weiterer bevorzugter Aspekt der Erfindung sieht vor, dass den Kameras eine Kalibriereinheit nachgeschaltet ist, mittels der die Position und Orientierung der beiden Kameras zueinander feststellbar und eine Transformation bestimmbar ist, die jeweils einer Bildposition, insbesondere einem Pixel, eines mit der einen Kamera aufgezeichneten Bildes und einer Bildposition, insbesondere einem Pixel, eines mit der anderen Kamera aufgezeichneten Bildes genau eine Raumposition, insbesondere ein Voxel, in einem dreidimensionalen Aufnahmeraum zuordnet, und mittels der für jede der Kameras jeweils eine Schar von Epipolarlinien ermittelbar ist, wobei jeweils einer Epipolarlinie der einen Kamera jeweils genau eine Epipolarlinie der anderen Kamera zugeordnet ist, dass den Kameras eine Auswerteeinheit nachgeschaltet ist, mittels der für jedes Pixel der ersten Kamera eine erste Umgebung, beispielsweise von 3x3 Pixel oder 5x5 Pixel, bestimmbar ist, eine für diese erste Kamera aufgefundene und das jeweilige Pixel umfassende erste Epipolarlinie bestimmbar ist, die dieser aufgefundenen ersten Epipolarlinie zugeordnete zweite Epipolarlinie der anderen Kamera bestimmbar ist, für sämtliche Pixel des Bildes der zweiten Kamera, die sich auf der zweiten Epipolarlinie befinden, eine zweite Umgebung bestimmbar ist, die kongruent zur ersten Umgebung ist, wobei die Intensitätswerte der ersten und der zweiten Umgebung mittels einer Vergleichseinheit miteinander vergleichbar sind, mittels der Vergleichseinheit ein Übereinstimmungsmaß für die beiden Umgebungen bestimmbar ist, und diejenige Bildposition, insbesondere desjenigen Pixels, auf der zweiten Epipolarlinie bestimmbar ist, auf der das Übereinstimmungsmaß am größten ist, mittels der Transformation ausgehend von der Bildposition des Pixels der ersten Kamera und der ermittelten Bildposition auf der zweiten Epipolarlinie eine Raumposition bestimmbar ist, und diese Raumposition in einem Speicher abspeicherbar ist.

Mit einer derartigen Anordnung können auf einfache und ressourcen-schonende Weise dreidimensionale Abbilder von Gegenständen aufgenommen werden.

Weiters kann vorgesehen sein, dass die optischen Achsen der beiden Kameras annähernd parallel ausgerichtet sind. Dies ermöglicht ein besonders einfaches Auffinden



der Transformation und verbessert die Genauigkeit der aufgenommenen dreidimensionalen Bilder.

Ein weiterer vorteilhafter Aspekt der Erfindung sieht vor, dass die beiden Kameras und die Projektionseinheit auf dem selben Träger oder Instrument angeordnet sind. Dies ermöglicht eine einfache Handhabung, insbesondere an platzbegrenzten Orten.

Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen erläutert.

Die Erfindung wird beispielhaft anhand der folgenden Abbildungen beschrieben.

Fig. 1 zeigt ein Instrument in der Form und den Abmessungen eines Mundspiegels mit zwei Kameras und einer Projektionseinheit in Vorderansicht.

Fig. 2 zeigt das Instrument mit zwei Kameras und einer Projektionseinheit in Seitenansicht.

Fig. 3 zeigt Bilder der beiden Kameras mit einander zugeordneten Epipolarlinien.

Fig. 4 zeigt eine erste Epipolarlinie, eine zweite Epipolarlinie sowie auf diesen Epipolarlinien liegende Punkte mit deren Umgebungen.

Fig. 5 zeigt eine diskrete Darstellung des Übereinstimmungsmaßes sowie eine Interpolation des Übereinstimmungsmaßes auf einer der zweiten Epipolarlinien.

Fig. 6 zeigt eine Aufnahme eines Gebisses als zusammengesetzte Aufnahme aus mehreren Einzelaufnahmen.

Fig. 7 zeigt die Wirkung einer kalibrierten Transformationsfunktion bei zwei gegebenen Bildpositionen auf den mit den beiden Kameras erzeugten Bildern.

Fig. 8 zeigt ein Zufallsbild.

Fig. 1 zeigt beispielhaft den grundsätzlichen Aufbau einer erfindungsgemäßen Anordnung mit einem Instrument 10 in Form und den Abmessungen eines Mundspiegels. Diese Anordnung umfasst ein Instrument 10, auf dessen Endteil 11 zwei Kameras 1a, 1b und eine Projektionseinheit 2 angeordnet sind. Alternative Ausführungsformen können Endoskope, chirurgische Werkzeuge oder generell Werkzeugträger umfassen, die zu den aufzuzeichnenden unzugänglichen Gegenständen 30, beispielsweise Zähnen, vordringen können und auf denen zwei Kameras 1a, 1b und eine im Folgenden noch beschriebene Projektionseinheit 2 angeordnet werden können.

Diese beiden Kameras 1a, 1b weisen Bildbereiche 3a, 3b auf, die teilweise überlappen. Die Aufnahmebereiche der beiden Kameras 1a, 1b sind gleich groß gewählt, wobei je nach typischem vorgegebenem Abstand der aufzunehmenden Gegenstände 30 von den Kameras 1a, 1b die Aufnahmebereiche derart gewählt werden, dass ein möglichst großer Teil der Gegenstände 30 im Überlappungsbereich 4 der Aufnahmebereiche 3a, 3b beider Kameras 1a, 1b liegt.



Im Bereich zwischen den beiden Kameras 1a, 1b ist eine Projektionseinheit 2 angeordnet, die ein Zufallsbild 40 in zumindest einen Teilbereich des Überlappungsbereichs 4 der beiden Kameras 1a, 1b wirft. Insbesondere ist es vorteilhaft, wenn das Zufallsbild 40 auf den gesamten Überlappungsbereich 4 der beiden Bildbereiche 3a, 3b der beiden Kameras 1a, 1b projiziert wird. In dem in Fig. 2 dargestellten Beispiel wird das Zufallsbild 40 mit der Projektionseinheit 2 in einen Projektionsbereich 5 projiziert, der den Überlappungsbereich 4 der beiden Bildbereiche 3a, 3b der beiden Kameras 1a, 1b einschließt.

Vor der Aufnahme der Gegenstände wird für die Anordnung der beiden Kameras 1a, 1b eine Kalibrierung vorgenommen. Für die Kalibrierung der beiden Kameras 1a, 1b ist die Projektionseinheit 2 nicht erforderlich und kann während des gesamten Kalibrierungsvorgangs ausgeschaltet bleiben. Bei der Kalibrierung wird zunächst die gegenseitige Position und Orientierung der beiden Kameras 1a, 1b zueinander bestimmt. Ein solches Vorgehen kann auf unterschiedliche Art realisiert werden, eine vorteilhafte Möglichkeit ist in J. Heikkilä: Geometric camera calibration using circular control points, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 22(10), 1066-1077, 2000 oder Faugeras, Toscani: Camera calibration for 3D computer vision, Proc. Int'l Workshop on Industrial Applications of Machine Vision and Machine Intelligence, Tokyo, Japan, pp. 240-247, Feb. 1987 beschrieben. Als Resultat wird eine Transformation erhalten, die einem Bildpunkt 8a eines Bildes der ersten Kamera 1a und einem Bildpunkt 8b eines Bildes der zweiten Kamera 1b einen Raumpunkt 17 im überlappenden Aufnahmebereich der beiden Kameras 1a, 1b zuordnet.

Jedem Pixel ist umkehrbar eindeutig ein Bildpunkt 8a, 8b zugeordnet. Bildpunkte können jedoch auch zwischen den einzelnen Pixeln liegen, was das im Folgenden beschriebene Verfahren für die Verwendung von Subpixel-Arithmetik geeignet macht.

Selbstverständlich kann eine derartige Zuordnung nicht für beliebige Bildpunkte 8a, 8b erfolgen, sondern es kann lediglich ein Raumpunkt 17 für jene Bildpunkte 8a, 8b ermittelt werden, die auf einander zugeordneten Epipolarlinien 9a, 9b liegen. Aus diesem Grund ist es im Zuge der Kalibrierung erforderlich, Scharen von Epipolarlinien 9a, 9b, dargestellt in Fig. 3, der beiden Kameras 1a, 1b aufzufinden und jede der Epipolarlinien 9a der einen Kamera 1a umkehrbar eindeutig jeweils einer Epipolarlinie 9b der jeweils anderen Kamera 1b zuzuordnen. Das Auffinden und die gegenseitige Zuordnung der Epipolarlinien 9a, 9b ist dem Fachmann bekannt und kann beispielsweise aus Zhengyou Zhang: Determining the Epipolar Geometry and its Uncertainty: A Review, International Journal of Computer Vision, volume 27 pages 161-195, 1996 entnommen werden.

Wie bereits erwähnt, wird im Zuge des erfindungsgemäßen Verfahrens ein Zufallsbild 40 auf den Überlappungsbereich 4 der Kameras 1a, 1b projiziert. Das Zufallsbild ist



beispielsweise ein Digitalbild mit einer vorgegebenen Höhe und Breite und einer Anzahl von rechteckigen rasterförmig angeordneten Pixeln bzw. Bildbereichen. Diese Pixel weisen einen aus einer Anzahl von vorgegebenen Farb- und/oder Intensitätswerten auf. Hintergrund der Verwendung eines Zufallsbilds 40 ist, dass für das im Folgenden beschriebene Verfahren die Umgebung jedes Pixels, beispielsweise eine 3x3 oder 5x5-Umgebung, innerhalb des gesamten Zufallsbilds dem jeweiligen Pixel eindeutig zuordenbar sein soll. Aufgrund der Eindeutigkeit der Umgebung kann ein Raumpunkt an unterschiedlichen Stellen in zwei mit jeweils einer der beiden Kameras 1a, 1b aufgenommenen Digitalbildern aufgefunden werden. Werden pro Pixel zwei voneinander abweichende Helligkeitswerte, beispielsweise weiß und schwarz, als mögliche Zufallswerte vorgegeben, stehen bei Verwendung einer Umgebung von 5x5 Pixeln etwa 32 Millionen unterschiedlicher Umgebungen zur Verfügung, sodass ohne weitere Einschränkungen des Verfahrens Bilder mit bis zu 32 Millionen Pixeln aufgenommen werden können und jedem aufgenommenen Pixel eine eindeutige Umgebung zugeordnet werden kann.

Das Zufallsbild kann bereits mit sehr einfachen Mitteln hergestellt werden und liegt beispielsweise als Dia vor. Die Berechnung der einzelnen den Pixeln zugeordneten Zufallswerte kann dabei mittels eines bereits bekannten Algorithmus, beispielsweise eines Mersenne Twister – Algorithmus erfolgen, der hinlänglich bekannt ist und in M. Matsumoto and T. Nishimura: Mersenne twister: A 623-dimensionally equidistributed uniform pseudorandom number generator. ACM Trans. on Modeling and Computer Simulations, 1998. beschrieben ist.

Alternativ kann zur Platzoptimierung eine Ausgestaltung der Projektionseinheit 2 mit einem Beugungsgitter vorgenommen werden, wobei wesentlich geringere Abmessungen des die Information des Digitalbilds tragenden Beugungsgitters möglich sind als bei der Verwendung von Dias. Die Ausgestaltung von Beugungsgittern zur Darstellung von Digitalbildern ist dem Fachmann hinlänglich bekannt und z. B. in JR Leger, MG Moharam, and TK Gaylord: Diffractive Optics - An Introduction to the Feature Issue. Applied Optics, 1995, 34 (14) p. 2399-2400 beschrieben. Im Bereich des Dias oder des Beugungsgitters befindet sich eine Lichtquelle, beispielsweise eine Laserdiode, deren Licht durch das Dia oder das Beugungsgitter auf die Gegenstände 30 projiziert wird.

Um ein dreidimensionales Bild des Gegenstands 30 zu erhalten, werden die im folgenden beschriebenen Verfahrensschritte für jedes einzelne der Pixel 8a der aufgenommenen Bilder einer der beiden Kameras, im Folgenden die erste Kamera 1a genannt, durchgeführt. Diese mit der ersten Kamera 1a aufgenommenen Pixel 8a werden im Folgenden erste Pixel 8a genannt. Gegebenenfalls kann die Anzahl dieser Pixel 8a um diejenigen Pixel reduziert werden, deren jeweiliger Aufnahmebereich nicht vom



Aufnahmebereich der anderen Kamera, im Folgenden zweite Kamera 1b genannt, umfasst ist. Die mit der zweiten Kamera 1b aufgenommenen Pixel 8b werden im Folgenden zweite Pixel 8b genannt.

Zunächst wird für jedes der ersten Pixel 8a eine erste Umgebung 13a bestimmt. Dies kann beispielsweise eine Umgebung mit einer Größe von 5x5 Pixeln sein, wobei sich das jeweilige Pixel 8a bevorzugterweise an der zentralen Stelle der ersten Umgebung 13a befindet.

Für jedes der ersten Pixel 8a der ersten Kamera 1a wird die Epipolarlinie 9a, wie in Fig. 4 dargestellt, der ersten Kamera 1a sowie die dieser zugeordnete Epipolarlinie 9b der zweiten Kamera 1b herangezogen. Wie bereits erwähnt, sind diese Epipolarlinien 9a, 9b bereits im Zuge der Kalibrierung der Kameras 1a, 1b ermittelt worden. Anschließend wird für die zweiten Pixel 8b auf dem Bild der zweiten Kamera 1b, die auf der Epipolarlinie 9b liegen, eine zweite Umgebung 13b von 5x5 Pixeln ermittelt und mit der ersten Umgebung 13a verglichen. Im Zuge des Vergleichs wird ein Übereinstimmungsmaß ermittelt, das angibt, ob eine Übereinstimmung der Intensitätswerte der beiden Umgebungen 13a, 13b besteht.

Stimmen die beiden Umgebungen 13a, 13b in Bezug auf die ihnen zugeordneten Intensitätswerte überein, liefert das Übereinstimmungsmaß – abhängig von seiner Formulierung – den größten oder den kleinsten Wert, insbesondere – bei totaler Übereinstimmung – null. Beispielsweise kann als Übereinstimmungsmaß für zwei Umgebungen der euklidische Abstand verwendet werden, wobei pixelweise sämtliche Intensitätswerte der Umgebung miteinander verglichen werden. Weitere Methoden zur Bildung eines Übereinstimmungsmaßes können aus Reinhard Klette, Andreas Koschan, Karsten Schlüns: Computer Vision – Räumliche Information aus digitalen Bildern, 1.Auflage (1996), Friedr. Vieweg & Sohn Verlag entnommen werden.

Das Übereinstimmungsmaß wird für die jeweiligen Umgebungen 13a, 13b von zwei Pixeln gebildet, von denen das eine im Bild der ersten Kamera 1a liegt und das andere auf derjenigen zweiten Epipolarlinie 9b liegt, die der ersten Epipolarlinie 9a zugeordnet ist, auf der das erste Pixel 8a im Bild der ersten Kamera 1a liegt. Da auf jeder zweiten Epipolarlinie 9b typischerweise 100 bis 1000 Pixel liegen, wird jeweils das Übereinstimmungsmaß für sämtliche auf der zweiten Epipolarlinie 9b gelegenen Punkte gebildet. Diese Übereinstimmungsmaße werden gemeinsam mit der Bildposition des jeweiligen Pixels in eine diskret definierte Funktion eingetragen, deren Definitionsbereich mittels einer Interpolationsfunktion 20 auf die gesamte zweite Epipolarlinie 9b ausgedehnt wird. Diese diskret definierte Funktion der Übereinstimmungsmaße und eine zugehörige interpolierende Funktion 20 sind in Fig. 5 dargestellt. Von dieser interpolierenden Funktion 20 wird das Maximum gesucht und diejenige Bildposition 14, an der das Maximum



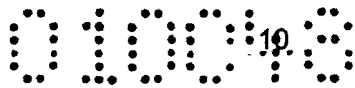
aufgefunden worden ist, wird als die dem Pixel 8a aus dem Bild der ersten Kamera entsprechende Bildposition angesehen. Es wird davon ausgegangen, dass auf diese Bildposition 14 sowie die Bildposition des Pixels 8a aus dem Bild der ersten Kamera 1a aufgrund der sehr ähnlichen Umgebungen sowie der Eindeutigkeit der Umgebung im Bildbereich derselbe Gegenstandsbereich abgebildet ist.

Die Suche der denselben Gegenstandsbereich abbildenden Bildposition des Bildes der zweiten Kamera 1b für ein Pixel des Bildes der ersten Kamera 1a wird somit auf die zweiten Epipolarlinien 9b beschränkt. Daher kann von dem sehr strengen Kriterium der Eindeutigkeit der Umgebung für das gesamte Zufallsbild abgegangen werden und es muss lediglich die Eindeutigkeit der Umgebung für die Pixel gefordert werden, die im Bild der beiden Kameras 1a, 1b auf derselben Epipolarlinie 9a, 9b zu liegen kommen. Aufgrund dieser Erweiterung des Bereichs der zulässigen Zufallsbild muss für die meisten Fälle lediglich eine 3x3-Umgebung ermittelt werden. Zur Erhöhung der Zuverlässigkeit bzw. zur Erhöhung der Präzision kann die numerisch aufwendigere 5x5-Umgebung herangezogen werden.

Die beiden ermittelten Bildpositionen werden der im Zuge der Kalibrierung Transformation unterworfen, die eine Raumposition 17 liefert. Diese Raumposition 17 entspricht der Position im Raum, die im Zuge der Aufnahme auf beide ermittelte Bildpositionen in den Bildern der beiden Kameras abgebildet worden ist.

Wird diese Vorgehensweise für eine Anzahl der Bildpunkte 8a eines Bildes der ersten Kamera 1a angewendet, erhält man eine ebenso große Anzahl von Bildpositionen 14 im gleichzeitig aufgenommenen Bild der zweiten Kamera sowie eine ebenso große Anzahl von Raumpunkten 17, die auf der Oberfläche des aufgenommenen Gegenstands 30 liegen.

Eine Erweiterung der erfindungsgemäßen Anordnung ist in Fig. 1 dargestellt, wobei diese zusätzlich über eine schaltbare Lichtquelle 6 verfügt, welche die abzubildenden Gegenstände 30 im Überlappungsbereich 4 der Aufnahmebereiche 3a, 3b der beiden Kameras beleuchtet. Diese Lichtquelle 6 kann so kurz wie realisierbar vor dem Einschalten der Projektionseinheit 2 eingeschaltet werden. Anschließend wird mit einer oder beiden Kameras 1a, 1b jeweils ein Bild erstellt und die Intensitätswerte für einen oder mehrere Farbkanäle aufgenommen. Danach wird die Lichtquelle 6 ausgeschaltet und die Projektionseinheit 2 eingeschaltet und das oben beschriebene Verfahren zur Ermittlung der Raumpositionen 17 durchgeführt. Es wird davon ausgegangen, dass die



Position der Anordnung zwischen der Aufnahme des Bildes mit dem Licht der Lichtquelle 6 und der anschließenden Aufnahme der Raumpositionen 17 unverändert bleibt. Nachdem die Bildpositionen 14 und die zugehörigen Raumpunkte 17 bestimmt sind, kann jedem Raumpunkt 17 der Intensitätswert des ihn über die Transformation festlegenden Pixel 8a und/oder des zugehörigen zweiten Pixels 8b auf der zweiten Epipolarlinie 9b zugewiesen werden.

Eine weitere zusätzliche Verbesserung der erfindungsgemäßen Vorgehensweise wird dadurch erzielt, dass nach der Ermittlung der Punkte ein Meshing-Schritt auf die ermittelte Punktwolke der erzielten Raumpunkte 17 angewendet wird. Dabei werden die ermittelten Raumpunkte 17 als Punkte der Oberfläche eines dreidimensionalen Gegenstands angesehen, der durch Tetraeder dargestellt wird. Gegebenenfalls kann die Darstellung auch mit anderen Typen von Elementen wie Prismen oder Würfeln erfolgen oder es kann auch nur die Oberfläche durch Dreiecke oder Vierecke dargestellt werden. Eine umfassende Darstellung von Meshing-Algorithmen kann beispielsweise in Joe, Simpson: Triangular Meshes for Regions of Complicated Shape, International Journal for Numerical Methods in Engineering, Wiley, Vol 23, pp.751-778, 1986 oder Borouchaki, Lo: Fast Delaunay triangulation in three dimensions, Computer methods in applied mechanics and engineering, Elsevier, Vol 128, pp.153-167, 1995 gefunden werden.

Sind zuvor bereits den einzelnen Raumpunkten 17 Intensitätswerte zugewiesen worden, können die Intensitätswerte durch Interpolation auf die Elemente der Oberfläche übertragen werden, wodurch eine durchgängige Farbgebung der Oberfläche erzielt wird.

Die in den Figuren dargestellte Anordnung fertigt etwa zehn bis zwanzig Abbilder des abzubildenden Gegenstands 30 pro Sekunde an. Wird die Anordnung, wie in Fig. 6. dargestellt, gegenüber den abzubildenden Gegenständen, hier Zähnen, derart langsam bewegt, dass in zwei aufeinanderfolgenden Zeitschritten überlappende Gegenstandsbereiche aufgenommen werden, besteht die Möglichkeit, die überlappenden Bildbereiche durch eine isometrische Transformation derart ineinander überzuführen, dass diese im selben Raumbereich zu liegen kommen. Derartige Verfahren sind beispielsweise in Timothée Jost, Heinz Hügli: Fast ICP algorithms for shape registration, Proceedings of the 24th DAGM Symposium on Pattern Recognition, pp. 91 - 99, 2002 beschrieben. Durch die Aufnahme mehrerer Bilder zu unterschiedlichen Zeitpunkten kann ein größeres dreidimensionales Abbild aus mehreren kleineren Abbildern zusammengesetzt werden. Durch dieses Vorgehen kann die gesamte in Fig. 6 dargestellte Zahnreihe dreidimensional abgebildet werden. Während des Aufnahmeprozesses wird das jeweils aktuell aufgenommene dreidimensionale



Gesamtabbild auf einem Bildschirm dargestellt. Der Messvorgang wird dahingehend zusätzlich unterstützt, dass während der Messung gleichzeitig die optimale Ausrichtung (virtueller Horizont) und die aktuelle Ausrichtung des Messkopfes anhand des jeweiligen dreidimensionalen Abbilds dargestellt werden.

Die im Folgenden beschriebene Verbesserung der erfindungsgemäßen Anordnung führt zu einer Verbesserung des Kontrasts der mit den Kameras aufgenommenen Bilder. Weist die Oberfläche der aufzunehmenden Gegenstände eine sehr hohe Reflexivität auf, werden die Bilder mitunter nicht richtig dargestellt bzw. befinden sich einige unbeabsichtigte Reflexionen auf den Bildern, welche die Qualität der Aufnahme erheblich beeinträchtigen können. Aus diesem Grund kann eine mattierende Flüssigkeit, beispielsweise Alginat, auf die Zähne aufgesprüht werden, welche die Aufnahme von dreidimensionalen Bildern mit der beschriebenen Vorgehensweise erheblich erleichtert. Aus diesem Grund weist die Anordnung einen Zerstäuber 7 auf, mit dem ein mattierendes Fluid auf die aufzuzeichnenden Gegenstände aufgebracht werden kann.

Der Handgriff des die Anordnung tragenden Instruments 10 weist an seiner Rückseite ein Kabel auf, mittels dessen die Anordnung mit einer Verarbeitungseinheit verbunden ist. Diese Verarbeitungseinheit versorgt die Kameras 1a, 1b, die Projektionseinheit 2, die Lichtquelle 6 mit der Versorgungsspannung und empfängt die ermittelten Daten von den Kameras 1a, 1b. Weiters kann die Flüssigkeit über eine Flüssigkeitsleitung durch den Handgriff des Instruments 10 zum Zerstäuber 7 geführt sein.

Als Alternative kann zur Übermittlung der Daten an die Verarbeitungseinheit eine WLAN-Schnittstelle verwendet werden. Diese bietet den Vorteil, dass keine Kabelführungen erforderlich sind. In dieser Ausführungsform verfügt das Instrument 10 über eine Batterie zur Spannungsversorgung der Kameras, der Projektionseinheit und der Lichtquelle sowie einen Tank für die mattierende Flüssigkeit.



Patentansprüche

1. Verfahren zur Aufnahme dreidimensionaler Abbilder von Gegenständen mit zwei Kameras (1a, 1b) mit einander überschneidenden Aufnahmebereichen,
- wobei vorab die Anordnung der beiden Kameras (1a, 1b) kalibriert wird, wobei die Position und Orientierung der beiden Kameras (1a, 1b) zueinander festgestellt wird und eine Transformation bestimmt wird, die jeweils einer Bildposition (8a), insbesondere die Position eines Pixels, eines mit der einen Kamera (1a) aufgezeichneten Bildes und einer Bildposition (8b), insbesondere einem Pixel, eines mit der anderen Kamera (1b) aufgezeichneten Bildes genau eine Raumposition (17), insbesondere eines Voxels, in einem dreidimensionalen Aufnahmeraum zuordnet,
- und ferner im Zuge des Kalibrierverfahrens für jede der Kameras (1a, 1b) jeweils eine Schar von Epipolarlinien (9a, 9b) ermittelt wird, wobei jeweils eine Epipolarlinie (9a) der einen Kamera (1a) jeweils genau einer Epipolarlinie (9b) der anderen Kamera (1b) zugeordnet wird,
- dadurch gekennzeichnet, dass
- ein vorgegebenes Zufallsbild (40) auf den aufzunehmenden Gegenstand (30) projiziert wird, wobei die einzelnen Bildpunkt des Zufallsbilds (40) einen von zumindest zwei voneinander abweichenden Farbwerten und/oder Intensitätswerten aufweisen und anschließend für jedes Pixel der ersten Kamera (1a)
- eine erste Umgebung (13a), beispielsweise von 3x3 Pixel oder 5x5 Pixel, bestimmt wird,
 - eine für diese erste Kamera (1a) aufgefundene und das jeweilige Pixel (8a) umfassende erste Epipolarlinie (9a) bestimmt wird,
 - die dieser aufgefundenen ersten Epipolarlinie (9a) zugeordnete zweite Epipolarlinie (9b) der zweiten Kamera (1b) bestimmt wird,
 - für sämtliche Pixel (8b) des Bildes der zweiten Kamera (1b), die sich auf der zweiten Epipolarlinie (9b) befinden,
 - eine zweite Umgebung (13b) bestimmt wird, die kongruent zur ersten Umgebung (13a) ist,
 - die Intensitätswerte der ersten und der zweiten Umgebung (13a, 13b) miteinander verglichen werden,
 - ein Übereinstimmungsmaß für die beiden Umgebungen bestimmt wird, und
 - diejenige Bildposition (14), insbesondere eines Pixels, auf der zweiten Epipolarlinie (9b) bestimmt wird, für die das Übereinstimmungsmaß am größten ist,
 - mittels der Transformation ausgehend von der Bildposition des Pixels (8a) der ersten Kamera (1a) und der ermittelten Bildposition (14) auf der zweiten Epipolarlinie (8b) eine Raumposition (17) bestimmt wird, und diese Raumposition (17) abgespeichert wird, wobei



2.

das Abbild des aufgenommenen Gegenstands (30) durch die Menge der aufgefundenen Raumpositionen (17) bestimmt wird und für eine weitere Verarbeitung zur Verfügung gehalten wird.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass unmittelbar vor oder nach der Aufnahme der Menge der Raumpositionen (17) die Projektion des Zufallsbilds inaktiv gestellt wird, und gegebenenfalls eine zusätzliche Beleuchtung der aufzunehmenden Gegenstände (30) erfolgt, wobei mit zumindest einer Kamera (1a, 1b) ein Bild des aufzunehmenden Gegenstands (30) aufgezeichnet wird, wobei jedem der ermittelten Raumpunkte (17) der, gegebenenfalls interpolierte, Intensitätswert oder die, gegebenenfalls interpolierten, Intensitätswerte derjenigen Bildposition (14), insbesondere die Bildposition eines Pixels (8a, 8b), zugeordnet werden, mittels derer basierend auf der Transformation die Raumposition des Raumpunkts (17) ermittelt worden ist.

3. Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass mittels eines Meshing-Verfahrens basierend auf der aufgezeichneten Punktmenge eine Oberflächenzerlegung oder einer Raumzerlegung mit einer Anzahl von Raumelementen oder Oberflächenelementen durchgeführt wird.

4. Verfahren gemäß den Ansprüchen 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, dass den Oberflächenelementen der Oberflächenzerlegung ein aus den Intensitätswerten der Raumpunkte der Punktmenge, insbesondere durch Interpolation, ermittelter Intensitätsverlauf zugeordnet und gegebenenfalls angezeigt wird.

5. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass laufend dreidimensionale Abbildungen von Gegenständen (30) aufgenommen werden,

die Gegenstände relativ zur Anordnung der Kameras (1a, 1b) bewegt werden, wobei die Relativbewegung derart langsam erfolgt, dass eine Überlappung des aufgenommenen Raumbereichs zweier zeitlich aufeinanderfolgender Abbildungen besteht, und

die ermittelten Punktmengen, Oberflächenzerlegungen oder Raumzerlegungen durch isometrische Transformation zur Deckung gebracht werden, und damit

eine zusammengesetzte Aufnahme aus einer Vielzahl von Aufnahmen erstellt wird.

6. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei mangelnder Übereinstimmung der ersten Umgebung (13a) mit einer zweiten



Umgebung (13b) eines zweiten Pixels (8b) auf einer Epipolarlinie (9b) des Bilds der zweiten Kamera (1b) ein die Oberfläche des aufzunehmenden Gegenstands (30) mattierendes Fluid auf die aufzunehmenden Gegenstände aufgesprüht wird und der Vorgang des Auffindens übereinstimmender Umgebungen nach dem Aufsprühen der Flüssigkeit fortgesetzt wird.

7. Anordnung zur Aufnahme dreidimensionaler Abbilder von Gegenständen mit zwei Kameras (1a, 1b) mit einander überlappenden Aufnahmebereichen gekennzeichnet durch eine Projektionseinheit (2) zur Abbildung eines Zufallsbilds (40), wobei die einzelnen Pixel des Zufallsbilds (40) einen von zumindest zwei voneinander abweichenden Farbwerten und/oder Intensitätswerten aufweisen, und wobei mit der Projektionseinheit (2) das Zufallsbild (40) in die überlappenden Aufnahmebereiche beider Kameras (1a, 1b) projizierbar ist.

8. Anordnung gemäß Anspruch 7, gekennzeichnet durch eine, vorzugsweise schaltbare, Lichtquelle (6), die den überlappenden Aufnahmebereich der beiden Kameras beleuchtet.

9. Anordnung gemäß Anspruch 7 oder 8, gekennzeichnet durch einen Zerstäuber (7), zum Aufbringen eines mattierenden Fluids auf die aufzuzeichnenden Gegenstände.

10. Anordnung gemäß einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass

a) den Kameras (1a, 1b) eine Kalibriereinheit nachgeschaltet ist, mittels der

- die Position und Orientierung der beiden Kameras zueinander und eine Transformation bestimmbar ist, die jeweils einer Bildposition, insbesondere einem Pixel, eines mit der einen Kamera (1a) aufgezeichneten Bildes und einer Bildposition, insbesondere einem Pixel, eines mit der anderen Kamera (1b) aufgezeichneten Bildes genau eine Raumposition, insbesondere ein Voxel, in einem dreidimensionalen Aufnahmeraum zuordnet, und

- mittels der für jede der Kameras (1a, 1b) jeweils eine Schar von Epipolarlinien (9a, 9b) ermittelbar ist, wobei jeweils einer Epipolarlinie (9a) der einen Kamera (1a) jeweils genau eine Epipolarlinie (9b) der anderen Kamera (1b) zugeordnet ist,

b) den Kameras eine Auswerteeinheit nachgeschaltet ist, mittels der

für jedes Pixel eines mittels der ersten Kamera (1a) aufgenommenen Bilds

- eine erste Umgebung (13a), beispielsweise von 3x3 Pixel oder 5x5 Pixel, bestimmbar ist,

- eine für diese erste Kamera (1a) aufgefundene und das jeweilige Pixel (1a) der ersten Kamera umfassende erste Epipolarlinie (9a) bestimmbar ist,



- die dieser aufgefundenen ersten Epipolarlinie (9a) zugeordnete zweite Epipolarlinie (9b) der anderen Kamera (1b) bestimmbar ist,
 - für sämtliche Pixel des Bildes der zweiten Kamera (1b), die sich auf der zweiten Epipolarlinie (9b) befinden,
 - eine zweite Umgebung (13b) bestimmbar ist, die kongruent zur ersten Umgebung (13a) ist, und
- c) eine Vergleichseinheit vorgesehen ist, mit der die Intensitätswerte der ersten und der zweiten Umgebung (13a, 13b) miteinander vergleichbar sind, wobei
- mit der Vergleichseinheit ein Übereinstimmungsmaß für die beiden Umgebungen bestimmbar ist, und diejenige Bildposition, insbesondere eines Pixels, auf der zweiten Epipolarlinie (9b) bestimmbar ist, für die das Übereinstimmungsmaß am größten ist, und
 - mit der Vergleichseinheit eine Transformation ausgehend von der Bildposition des Pixels (8a) der ersten Kamera (1a) und der ermittelten Bildposition (14) auf der zweiten Epipolarlinie (9b) eine Raumposition (17) bestimmbar ist, und diese Raumposition (17) in einem Speicher abspeicherbar ist.

11. Anordnung gemäß einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die optischen Achsen der beiden Kameras (1a, 1b) annähernd parallel ausgerichtet sind.

12. Anordnung gemäß einem der Ansprüche 7 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Kameras (1a, 1b) und die Projektionseinheit (2) auf demselben Träger oder Instrument (10) angeordnet sind.

~~Wien, am 7. Oktober 2009~~

010048

Fig. 1

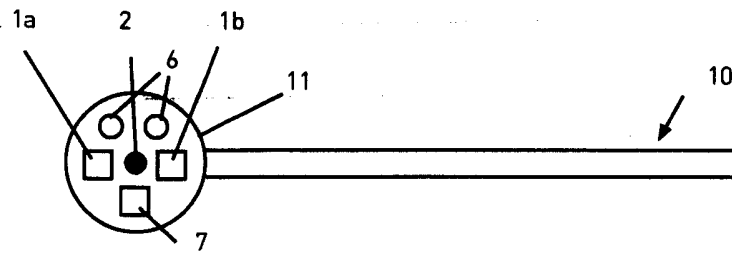


Fig. 2

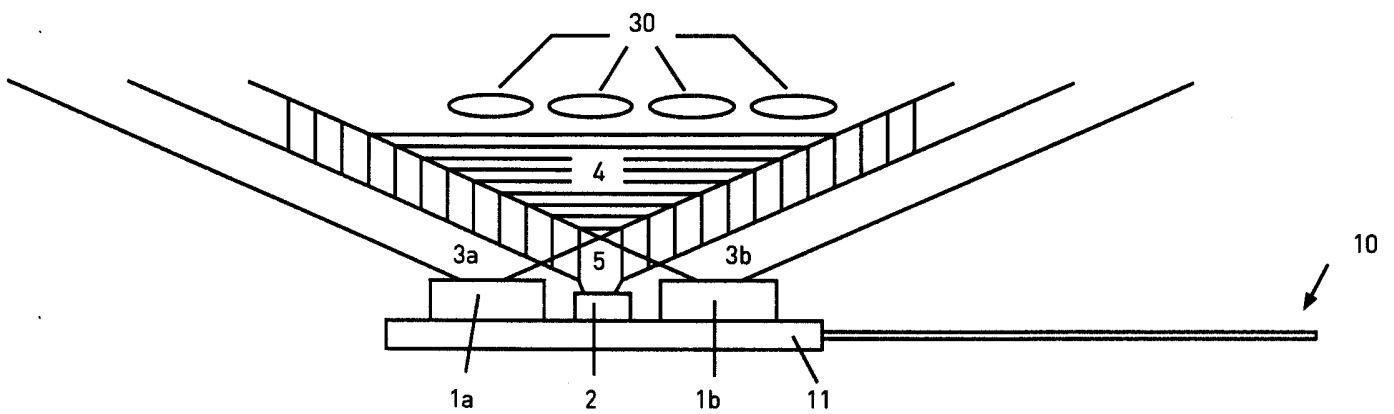


Fig. 3

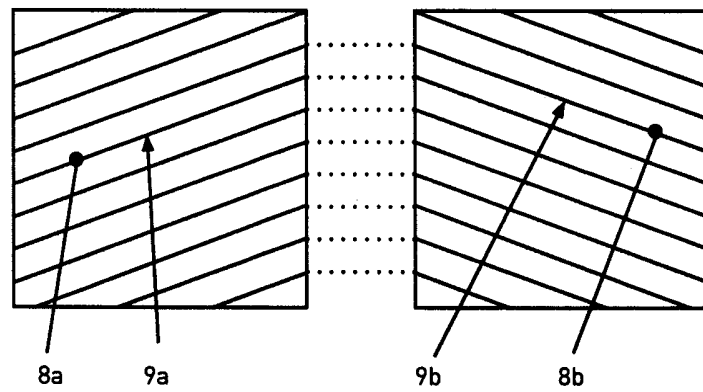
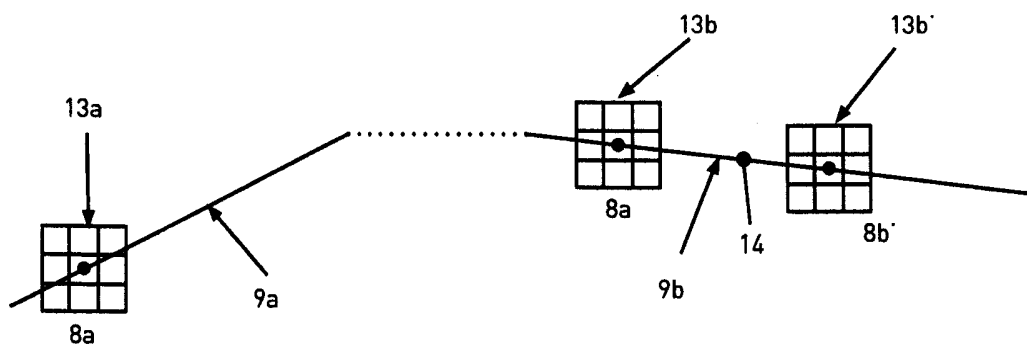


Fig. 4



010018

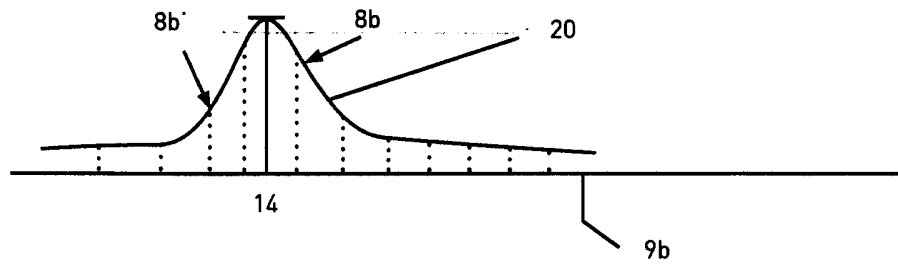


Fig. 5

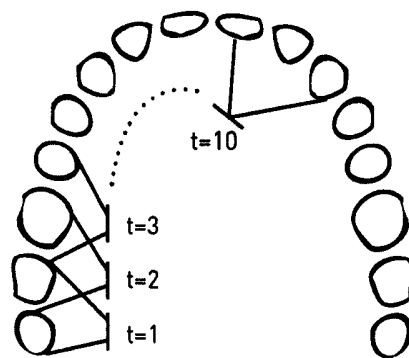


Fig. 6

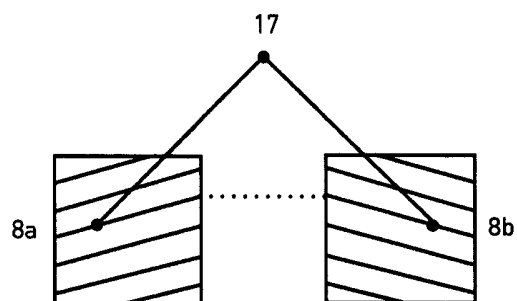


Fig. 7

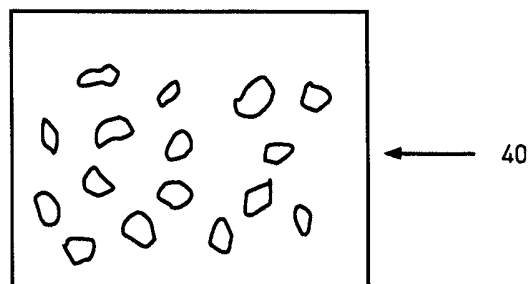
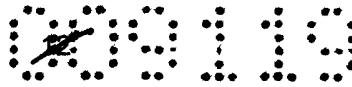


Fig. 8

2



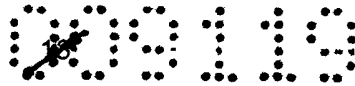
1. Patentansprüche

1. Verfahren zur Aufnahme dreidimensionaler Abbilder von Gegenständen mit zwei Kameras (1a, 1b) mit einander überschneidenden Aufnahmebereichen, wobei vorab die Anordnung der beiden Kameras (1a, 1b) kalibriert wird, wobei die Position und Orientierung der beiden Kameras (1a, 1b) zueinander festgestellt wird und eine Transformation bestimmt wird, die jeweils einer Bildposition (8a), insbesondere die Position eines Pixels, eines mit der einen Kamera (1a) aufgezeichneten Bildes und einer Bildposition (8b), insbesondere einem Pixel, eines mit der anderen Kamera (1b) aufgezeichneten Bildes genau eine Raumposition (17), insbesondere eines Voxels, in einem dreidimensionalen Aufnahmeraum zuordnet, und ferner im Zuge des Kalibrierungsverfahrens für jede der Kameras (1a, 1b) jeweils eine Schar von Epipolarlinien (9a, 9b) ermittelt wird, wobei jeweils eine Epipolarlinie (9a) der einen Kamera (1a) jeweils genau einer Epipolarlinie (9b) der anderen Kamera (1b) zugeordnet wird, dadurch gekennzeichnet, dass ein vorgegebenes Zufallsbild (40) auf den aufzunehmenden Gegenstand (30) projiziert wird, wobei die einzelnen Bildpunkt des Zufallsbilds (40) einen von zumindest zwei voneinander abweichenden Farbwerten und/oder Intensitätswerten aufweisen und anschließend für jedes Pixel der ersten Kamera (1a)

- eine erste Umgebung (13a), beispielsweise von 3x3 Pixel oder 5x5 Pixel, bestimmt wird,
- eine für diese erste Kamera (1a) aufgefundene und das jeweilige Pixel (8a) umfassende erste Epipolarlinie (9a) bestimmt wird,
- die dieser aufgefundenen ersten Epipolarlinie (9a) zugeordnete zweite Epipolarlinie (9b) der zweiten Kamera (1b) bestimmt wird,
- für sämtliche Pixel (8b) des Bildes der zweiten Kamera (1b), die sich auf der zweiten Epipolarlinie (9b) befinden,
- eine zweite Umgebung (13b) bestimmt wird, die kongruent zur ersten Umgebung (13a) ist,
- die Intensitätswerte der ersten und der zweiten Umgebung (13a, 13b) miteinander verglichen werden,
- ein Übereinstimmungsmaß für die beiden Umgebungen bestimmt wird, und
- diejenige Bildposition (14), insbesondere eines Pixels, auf der zweiten Epipolarlinie (9b) bestimmt wird, für die das Übereinstimmungsmaß am größten ist,
- mittels der Transformation ausgehend von der Bildposition des Pixels (8a) der ersten Kamera (1a) und der ermittelten Bildposition (14) auf der zweiten Epipolarlinie (8b) eine Raumposition (17) bestimmt wird, und diese Raumposition (17) abgespeichert wird, wobei

NACHGEREICHT

2



2.

das Abbild des aufgenommenen Gegenstands (30) durch die Menge der aufgefundenen Raumpositionen (17) bestimmt wird und für eine weitere Verarbeitung zur Verfügung gehalten wird.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass unmittelbar vor oder nach der Aufnahme der Menge der Raumpositionen (17) die Projektion des Zufallsbilds inaktiv gestellt wird, und gegebenenfalls eine zusätzliche Beleuchtung der aufzunehmenden Gegenstände (30) erfolgt, wobei mit zumindest einer Kamera (1a, 1b) ein Bild des aufzunehmenden Gegenstands (30) aufgezeichnet wird, wobei jedem der ermittelten Raumpunkte (17) der, gegebenenfalls interpolierte, Intensitätswert oder die, gegebenenfalls interpolierten, Intensitätswerte derjenigen Bildposition (14), insbesondere die Bildposition eines Pixels (8a, 8b), zugeordnet werden, mittels derer basierend auf der Transformation die Raumposition des Raumpunkts (17) ermittelt worden ist.

3. Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass mittels eines Meshing-Verfahrens basierend auf der aufgezeichneten Punktmenge eine Oberflächenzerlegung oder einer Raumzerlegung mit einer Anzahl von Raumelementen oder Oberflächenelementen durchgeführt wird.

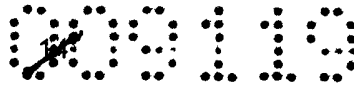
4. Verfahren gemäß den Ansprüchen 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, dass den Oberflächenelementen der Oberflächenzerlegung ein aus den Intensitätswerten der Raumpunkte der Punktmenge, insbesondere durch Interpolation, ermittelter Intensitätsverlauf zugeordnet und gegebenenfalls angezeigt wird.

5. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass laufend dreidimensionale Abbildungen von Gegenständen (30) aufgenommen werden, die Gegenstände relativ zur Anordnung der Kameras (1a, 1b) bewegt werden, wobei die Relativbewegung derart langsam erfolgt, dass eine Überlappung des aufgenommenen Raumbereichs zweier zeitlich aufeinanderfolgender Abbildungen besteht, und die ermittelten Punktmengen, Oberflächenzerlegungen oder Raumzerlegungen durch isometrische Transformation zur Deckung gebracht werden, und damit eine zusammengesetzte Aufnahme aus einer Vielzahl von Aufnahmen erstellt wird.

6. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei mangelnder Übereinstimmung der ersten Umgebung (13a) mit einer zweiten

NACHGEREICHT

2



3

Umgebung (13b) eines zweiten Pixels (8b) auf einer Epipolarlinie (9b) des Bilds der zweiten Kamera (1b) ein die Oberfläche des aufzunehmenden Gegenstands (30) mattierendes Fluid auf die aufzunehmenden Gegenstände aufgesprüht wird und der Vorgang des Auffindens übereinstimmender Umgebungen nach dem Aufsprühen der Flüssigkeit fortgesetzt wird.

7. Anordnung zur Aufnahme dreidimensionaler Abbilder von Gegenständen mit zwei Kameras (1a, 1b) mit einander überlappenden Aufnahmebereichen umfassend eine Projektionseinheit (2) zur Abbildung eines Zufallsbilds (40), wobei die einzelnen Pixel des Zufallsbilds (40) einen von zumindest zwei voneinander abweichenden Farbwerten und/oder Intensitätswerten aufweisen, und wobei mit der Projektionseinheit (2) das Zufallsbild (40) in die überlappenden Aufnahmebereiche beider Kameras (1a, 1b) projizierbar ist, dadurch gekennzeichnet,

dass das Zufallsbild so gewählt ist, dass die Pixel, die im Bild der beiden Kameras 1a, 1b auf der selben Epipolarlinie 9a, 9b zu liegen kommen, eindeutige Umgebungen aufweisen.

8. Anordnung gemäß Anspruch 7, gekennzeichnet durch eine, vorzugsweise schaltbare, Lichtquelle (6), die den überlappenden Aufnahmebereich der beiden Kameras beleuchtet.

9. Anordnung gemäß Anspruch 7 oder 8, gekennzeichnet durch einen Zerstäuber (7), zum Aufbringen eines mattierenden Fluids auf die aufzuzeichnenden Gegenstände.

10. Anordnung gemäß einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass

a) den Kameras (1a, 1b) eine Kalibriereinheit nachgeschaltet ist, mittels der

- die Position und Orientierung der beiden Kameras zueinander und eine Transformation bestimmbar ist, die jeweils einer Bildposition, insbesondere einem Pixel, eines mit der einen Kamera (1a) aufgezeichneten Bildes und einer Bildposition, insbesondere einem Pixel, eines mit der anderen Kamera (1b) aufgezeichneten Bildes genau eine Raumposition, insbesondere ein Voxel, in einem dreidimensionalen Aufnahmeraum zuordnet, und

- mittels der für jede der Kameras (1a, 1b) jeweils eine Schar von Epipolarlinien (9a, 9b) ermittelbar ist, wobei jeweils einer Epipolarlinie (9a) der einen Kamera (1a) jeweils genau eine Epipolarlinie (9b) der anderen Kamera (1b) zugeordnet ist,

b) den Kameras eine Auswerteeinheit nachgeschaltet ist, mittels der

für jedes Pixel eines mittels der ersten Kamera (1a) aufgenommenen Bilds

DAVID REICHT

2/

4. 000110

- eine erste Umgebung (13a), beispielsweise von 3x3 Pixel oder 5x5 Pixel, bestimmbar ist,
- eine für diese erste Kamera (1a) aufgefundene und das jeweilige Pixel (1a) der ersten Kamera umfassende erste Epipolarlinie (9a) bestimmbar ist,
- die dieser aufgefundenen ersten Epipolarlinie (9a) zugeordnete zweite Epipolarlinie (9b) der anderen Kamera (1b) bestimmbar ist,
- für sämtliche Pixel des Bildes der zweiten Kamera (1b), die sich auf der zweiten Epipolarlinie (9b) befinden,
- eine zweite Umgebung (13b) bestimmbar ist, die kongruent zur ersten Umgebung (13a) ist, und
- c) eine Vergleichseinheit vorgesehen ist, mit der die Intensitätswerte der ersten und der zweiten Umgebung (13a, 13b) miteinander vergleichbar sind, wobei
 - mit der Vergleichseinheit ein Übereinstimmungsmaß für die beiden Umgebungen bestimmbar ist, und diejenige Bildposition, insbesondere eines Pixels, auf der zweiten Epipolarlinie (9b) bestimmbar ist, für die das Übereinstimmungsmaß am größten ist, und
 - mit der Vergleichseinheit eine Transformation ausgehend von der Bildposition des Pixels (8a) der ersten Kamera (1a) und der ermittelten Bildposition (14) auf der zweiten Epipolarlinie (9b) eine Raumposition (17) bestimmbar ist, und diese Raumposition (17) in einem Speicher abspeicherbar ist.

11. Anordnung gemäß einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die optischen Achsen der beiden Kameras (1a, 1b) annähernd parallel ausgerichtet sind.

12. Anordnung gemäß einem der Ansprüche 7 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Kameras (1a, 1b) und die Projektionseinheit (2) auf demselben Träger oder Instrument (10) angeordnet sind.

~~Wien, am 26. August 2010~~

NACHTGEREICHT